P.22 Dados: $L_0 = 100$ cm; $\theta_0 = 0$ °C; $\theta = 50$ °C; $\alpha = 15 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 15 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 50 \Rightarrow \Delta L = 0{,}075$ cm

O comprimento da barra, quando a temperatura é 50 °C, é dado por:

$L = L_0 + \Delta L \Rightarrow L = 100 + 0{,}075 \Rightarrow \boxed{L = 100{,}075 \text{ m}}$

P.23 Dados: $\Delta L = \dfrac{1}{100} L_0$; $\Delta\theta = \theta - \theta_0 = \theta - 20$; $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$

$$\frac{1}{100}\cancel{L_0} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot \cancel{L_0} \cdot (\theta - 20) \Rightarrow \theta - 20 = \frac{1}{100 \cdot 12 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta - 20 = \frac{1}{12 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \theta - 20 = \frac{10^4}{12} \Rightarrow \theta - 20 = 833{,}3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta = 833{,}3 + 20 \Rightarrow \boxed{\theta = 853{,}3 \text{ °C}}$$

P.24 Dados: $\alpha_1 = 16 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}; $\alpha_2 = 20 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

Quando $\theta_0 = 10$ °C, temos: $L_{0(1)} = L_{0(2)} = x$

Quando $\theta = 110$ °C, temos: $L_2 - L_1 = 1$ mm

Sendo: $L_2 = L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$ e $L_1 = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta)$, temos:

$L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta) - L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta) = 1$

$x \cdot (1 + 20 \cdot 10^{-6} \cdot 100) - x \cdot (1 + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = 1$

$x \cdot (1{,}0020) - x \cdot (1{,}0016) = 1$

$$x = \frac{1}{0{,}0004}$$

$\boxed{x = 2.500 \text{ mm}}$ ou $\boxed{x = 2{,}5 \text{ m}}$

P.25 Para $\theta_0 = 15\ °C$, temos: $L_{0(1)} = L_{0(2)} = 20$ cm

Para $\theta = -5\ °C$, temos: $L_1 - L_2 = x$

A diferença de temperatura $\Delta\theta$ é:

$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = -5\ °C - 15\ °C = -20\ °C$

Dados: $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$; $\alpha_2 = 18 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

Sendo: $L_1 = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta)$ e $L_2 = L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$, vem:

$x = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta) - L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$

$x = 20 \cdot [1 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot (-20)] - 20 \cdot [1 + 18 \cdot 10^{-6} \cdot (-20)]$

$x = 20 - 0{,}0048 - 20 + 0{,}0072$

$\boxed{x = 0{,}0024 \text{ cm}}$ ou $\boxed{x = 2{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$

P.26 a) Da figura: $\Delta L_A = 4$ cm; $\Delta L_B = 2$ cm; $\Delta\theta = 100\ °C$

$$\alpha_A = \frac{\Delta L_A}{L_{0(A)} \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \alpha_A = \frac{4}{100 \cdot 100} \Rightarrow \boxed{\alpha_A = 4 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}}$$

e

$$\alpha_B = \frac{\Delta L_B}{L_{0(B)} \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \alpha_B = \frac{2}{100 \cdot 100} \Rightarrow \boxed{\alpha_B = 2 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}}$$

b) $L_A - L_B = 4$ cm

$L_{0(A)} \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta) - L_{0(B)} \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta) = 4$

$100 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\theta) - 100 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\theta) = 4$

$100 + 4 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta - 100 - 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$

$4 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta - 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$

$2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$

$\Delta\theta = 200\ °C$

Como $\theta_0 = 0\ °C \Rightarrow \boxed{\theta = 200\ °C}$

P.27 Dados: $L_B - L_A = 30$ cm ①; $\alpha_A = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$; $\alpha_B = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

Conforme foi deduzido no exercício **R.12**:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{\alpha_B}{\alpha_A}$$

Então: $\dfrac{L_A}{L_B} = \dfrac{1{,}2 \cdot 10^{-5}}{2{,}4 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \dfrac{L_A}{L_B} = \dfrac{1}{2} \Rightarrow L_B = 2L_A$ ②

Substituindo ② em ①, temos: $2L_A - L_A = 30 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{L_A = 30 \text{ cm}}$

Substituindo ③ em ②, temos: $L_B = 2L_A = 2 \cdot 30 \Rightarrow \boxed{L_B = 60 \text{ cm}}$

P.28 Para que a diferença de comprimentos seja constante com a temperatura:

$\Delta L_1 = \Delta L_2$

Como $\Delta L_1 = \alpha_1 \cdot L_1 \cdot \Delta\theta$ e $\Delta L_2 = \alpha_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta$, vem:

$\alpha_1 \cdot L_1 \cdot \Delta\theta = \alpha_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \alpha_1 \cdot L_1 = \alpha_2 \cdot L_2$

Como $\alpha_1 = 15 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ e $\alpha_2 = 20 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$, obtemos:

$15 \cdot 10^{-6} \cdot L_1 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot L_2 \Rightarrow L_1 = \frac{4}{3} L_2$ ①

Por outro lado, sabemos que:

$L_1 - L_2 = 3$ cm ②

Substituindo ① em ②, temos:

$\frac{4}{3} L_2 - L_2 = 3 \Rightarrow \boxed{L_2 = 9 \text{ cm}}$

Em ①: $L_1 = \frac{4}{3} L_2 \Rightarrow L_1 = \frac{4}{3} \cdot 9 \Rightarrow \boxed{L_1 = 12 \text{ cm}}$

P.29 Dados: $A_0 = 900\ cm^2$; $\theta_0 = 10\ °C$; $\theta = 60\ °C$

$\alpha = 27 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \Rightarrow \beta = 2\alpha \Rightarrow \beta = 54 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta = 54 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \cdot (60 - 10) \Rightarrow \Delta A = 2{,}43\ cm^2$

A área da superfície da chapa a 60 °C é dada por:

$A = A_0 + \Delta A = 900 + 2{,}43 \Rightarrow \boxed{\Delta A = 902{,}43\ cm^2}$

P.30 Importante: a área interna do anel aumenta com a temperatura como se fosse constituída do material do anel.

Dados: $A_0 = 5\ cm^2$; $\theta_0 = 20\ °C$; $\theta = 120\ °C$; $\beta = 30 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot (120 - 20)$

$\boxed{\Delta A = 0{,}015\ cm^2}$ ou $\boxed{\Delta A = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ cm^2}$

P.31 $\beta = 4 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{2} \Rightarrow \alpha = 2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

Para $\theta_0 = 20\ °C$, temos: $R_0 = 20{,}000$ mm

Para $\theta = ?$, devemos ter: $R = 19{,}988$ mm

$\Delta R = R - R_0 = 19{,}988 - 20{,}000 \Rightarrow \Delta R = -0{,}012$ mm

Mas: $\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow -0{,}012 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 20{,}000 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = -30\ °C$

Como $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, obtemos:

$\theta = \Delta\theta + \theta_0 \Rightarrow \theta = -30 + 20 \Rightarrow \boxed{\theta = -10\ °C}$

P.32 Dados: $d_0 = 1{,}0$ cm; $\theta_0 = 30$ °C; $\theta = 330$ °C; $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

a) $\Delta d = \alpha \cdot d_0 \cdot \Delta\theta = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}0 \cdot (330 - 30) \Rightarrow \boxed{\Delta d = 3{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$

b) A variação do diâmetro do furo **não** depende do diâmetro da chapa; ela depende do diâmetro inicial do furo.

P.33 Dados: $V_0 = 100$ ℓ; $\theta_0 = 0$ °C; $\Delta V = 0{,}405$ ℓ; $\alpha = 27 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 81 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 0{,}405 = 81 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 50$ °C

$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow 50 = \theta - 0 \Rightarrow \boxed{\theta = 50 \text{ °C}}$

P.34 Importante: o volume interno do balão aumenta com a temperatura como se fosse constituído pelo material das paredes do balão.

Dados: $V_0 = 500$ mℓ; $\theta_0 = 0$ °C; $\theta = 50$ °C; $\gamma = 3 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot (50 - 0) \Rightarrow \boxed{\Delta V = 7{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ mℓ}}$

P.35 Dados: $\begin{cases} 6{,}0 \cdot 10^3 \text{ cm}^3;\ \theta_0 = 10 \text{ °C};\ \theta = 110 \text{ °C};\ \alpha = 8{,}0 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1} \\ V_0 = (10 \times 20 \times 30) \text{ cm}^3 \end{cases}$

$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 24 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 6{,}0 \cdot 10^3 \cdot (110 - 10) \Rightarrow \boxed{\Delta V = 14{,}4 \text{ cm}^3}$

P.36 Dados: $\begin{cases} V_0 = 50 \text{ cm}^3;\ \theta_0 = 28 \text{ °C};\ \theta = 48 \text{ °C};\ \gamma_{Hg} = 180 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}; \\ \alpha_{vidro} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1} \end{cases}$

$\gamma_{vidro} = 3\alpha_{vidro} = 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_{vidro} = 27 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$\gamma_{ap.} = \gamma_{Hg} - \gamma_{vidro} = 180 \cdot 10^{-6} - 27 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_{ap.} = 153 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

O volume extravasado corresponde à dilatação aparente do mercúrio:

$\Delta V_{ap.} = \gamma_{ap.} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 153 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (48 - 28) \Rightarrow \boxed{\Delta V_{ap.} = 0{,}153 \text{ cm}^3}$

P.37 a) Dados: $V_0 = 1.000\ cm^3$; $\theta_0 = 0\ °C$; $\theta = 100\ °C$; $\Delta V_{ap.} = 50{,}5\ cm^3$

$\Delta V_{ap.} = \gamma_{ap.} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$

$50{,}5 = \gamma_{ap.} \cdot 1.000 \cdot (100 - 0)$

$\gamma_{ap.} = 50{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

$\boxed{\gamma_{ap.} = 5{,}05 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}}$

b) Sendo $\gamma_F = 25 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ o coeficiente de dilatação volumétrico do frasco (recipiente), temos:

$\gamma = \gamma_{ap.} + \gamma_F = 505 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6}$

$\gamma = 530 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$\boxed{\gamma = 5{,}30 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}}$

P.38 Para que não se altere o volume da parte vazia, a dilatação do mercúrio e a do recipiente devem ser iguais: $\Delta C = \Delta V$

Como $\Delta C = \gamma_F \cdot C_0 \cdot \Delta\theta$ e $\Delta V = \gamma_{Hg} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$, temos:

$\gamma_F \cdot C_0 \cdot \Delta\theta = \gamma_{Hg} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \gamma_F \cdot C_0 = \gamma_{Hg} \cdot V_0$

Dados: $C_0 = 700\ cm^3$; $\gamma_F = \dfrac{1}{38.850}\ °C^{-1}$; $\gamma_{Hg} = \dfrac{1}{5.550}\ °C^{-1}$

O volume de mercúrio que deve ser colocado no recipiente é dado por:

$$\frac{1}{38.850} \cdot 700 = \frac{1}{5.550} \cdot V_0 \Rightarrow \boxed{V_0 = 100\ cm^3}$$

P.39 Dados: $V_{0(F)} = 1.000\ cm^3$ (a 0 °C); $\gamma_F = 2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$; $V_{0(L)} = 980\ cm^3$; $\gamma_L = 1 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1}$

O início do transbordamento acontece quando $V_F = V_L$. Assim:

$V_{0(F)} \cdot (1 + \gamma_F \cdot \Delta\theta) = V_{0(L)} \cdot (1 + \gamma_L \cdot \Delta\theta)$

$1.000 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta\theta) = 980 \cdot (1 + 10^{-3} \cdot \Delta\theta)$

$1.000 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 980 + 980 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta$

$(2 \cdot 10^{-2} - 980 \cdot 10^{-3}) \cdot \Delta\theta = -20$

$(0{,}02 - 0{,}980) \cdot \Delta\theta = -20$

$-0{,}96 \cdot \Delta\theta = -20$

$\Delta\theta = 20{,}83\ °C$

Como $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, temos: $\boxed{\theta = 20{,}83\ °C}$

P.40 Devemos colocar o frasco no caldeirão com água quente. Como o coeficiente de dilatação do zinco é maior que o do vidro, a tampa se dilatará mais que o orifício e será fácil desatarrachá-la.

P.41 Dados: $\alpha_{aço} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$; $L_0 = 8{,}0$ m; $\theta_0 = 28$ °C

Se as extremidades de cada trilho deslocarem 0,25 cm devido à dilatação, os trilhos entrarão em contato e a partir daí ficarão sob tensão, podendo se soltar dos dormentes. Logo, a dilatação máxima possível para cada trilho é dada por:

$\Delta L = 0{,}50 \text{ cm} = 0{,}50 \cdot 10^{-2}$ m

$\Delta L = \alpha_{aço} \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 0{,}50 \cdot 10^{-2} = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 8{,}0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \frac{0{,}50 \cdot 10^{-2}}{1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 8{,}0} \Rightarrow \Delta\theta = 52\ °C$$

A temperatura mínima atingida pelos trilhos, nessa condição, é:

$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow 52 = \theta - 28 \Rightarrow \boxed{\theta = 80\ °C}$

P.42 a) Dados: $L_{0(Zn)} = 5{,}0$ m; $L_{0(Fe)} = 12$ m; $\alpha_{Zn} = 3{,}0 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$;

$\alpha_{Fe} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$; $T_i = 300$ K; $T_f = 400$ K

$\Delta T = 400\ K - 300\ K = 100$ K

$\Delta L_{Zn} = \alpha_{Zn} \cdot L_{0(Zn)} \cdot \Delta T = 3{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot 5{,}0 \cdot 100 \Rightarrow \Delta L_{Zn} = 15 \cdot 10^{-3}$ m

$\Delta L_{Fe} = \alpha_{Fe} \cdot L_{0(Fe)} \cdot \Delta T = 1{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 100 \Rightarrow \Delta L_{Fe} = 12 \cdot 10^{-3}$ m

$x = \Delta L_{Zn} - \Delta L_{Fe} = 15 \cdot 10^{-3} - 12 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{x = 3 \cdot 10^{-3}\ m}$ ou $\boxed{x = 3\ mm}$

b) $\alpha_{Zn} \cdot L_{Zn} = \alpha_{Fe} \cdot L_{Fe} \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot L_{Zn} = 1{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot L_{Fe} \Rightarrow L_{Fe} = 3{,}0 L_{Zn}$

Da figura, temos: $L_{Fe} = 12$ m

Com esse dado, obtemos:

$$L_{Zn} = \frac{L_{Fe}}{3{,}0} \Rightarrow L_{Zn} = \frac{12}{3{,}0} \Rightarrow L_{Zn} = 4\ m$$

Portanto:

$x = L_{Fe} - L_{Zn} \Rightarrow x = 12 - 4 \Rightarrow \boxed{x = 8\ m}$

P.43 a) Para o metal **I**, obtemos no gráfico:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ e } \Delta\theta = 30 \text{ °C}$$

Como $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha_I \cdot \Delta\theta$, temos:

$$300 \cdot 10^{-6} = \alpha_I \cdot 30 \Rightarrow \boxed{\alpha_I = 1{,}0 \cdot 10^{-5} \text{ °C}^{-1}}$$

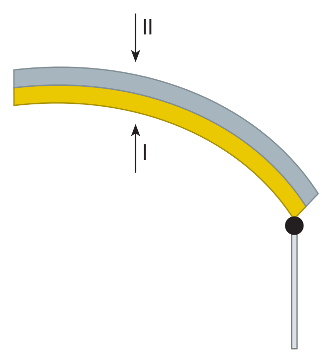
Para o metal **II**, obtemos no gráfico:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 600 \cdot 10^{-6} \text{ e } \Delta\theta = 30 \text{ °C}$$

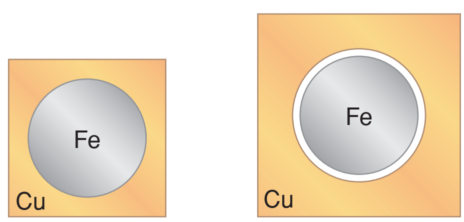
Substituindo em $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha_{II} \cdot \Delta\theta$, vem:

$$600 \cdot 10^{-6} = \alpha_{II} \cdot 30 \Rightarrow \boxed{\alpha_{II} = 2{,}0 \cdot 10^{-5} \text{ °C}^{-1}}$$

b) Como a lâmina está sendo aquecida, na parte superior deve ser utilizado o metal que se dilata mais, isto é, o metal II.
Esquematicamente:



P.44 A área da coroa circular vazia corresponde à diferença entre a variação da área da cavidade no bloco de cobre (ΔA_{Cu}) e a variação da área do disco de ferro (ΔA_{Fe}):
$\Delta A_{coroa} = \Delta A_{Cu} - \Delta A_{Fe}$ ①



Para a cavidade no bloco de cobre, $\Delta A_{Cu} = \beta_{Cu} \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$, em que:
$\beta_{Cu} = 2\alpha_{Cu} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$; $A_0 = 100 \text{ cm}^2$; $\Delta\theta = 100 \text{ °C}$
Então: $\Delta A_{Cu} = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 100 \Rightarrow \Delta A_{Cu} = 0{,}32 \text{ cm}^2$ ②
Para o disco de ferro, $\Delta A_{Fe} = \beta_{Fe} \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$, em que:
$\beta_{Fe} = 2\alpha_{Fe} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$

Assim: $\Delta A_{Fe} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 100 \Rightarrow \Delta A_{Fe} = 0{,}20\ cm^2$ ③

Substituindo ② e ③ em ①, obtemos:

$$\Delta A_{coroa} = 0{,}32 - 0{,}20 \Rightarrow \boxed{\Delta A_{coroa} = 0{,}12\ cm^2}$$

P.45 Um aumento de volume de 1% equivale a: $\Delta V = 0{,}01 \cdot V_0$ (um centésimo do volume inicial).

$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 3 \cdot 0{,}0000117 \Rightarrow \gamma = 0{,}0000351\ °C^{-1}$

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$

$0{,}01 \cdot \cancel{V_0} = 0{,}0000351 \cdot \cancel{V_0} \cdot \Delta\theta$

$$\Delta\theta = \frac{0{,}01}{0{,}0000351}$$

$$\boxed{\Delta\theta \simeq 285\ °C}$$

P.46 Dados:

$\theta_0 = 10\ °C$; $V_0 = 1{,}0\ cm^3$; $\theta = 60\ °C$; $V = 1{,}01\ cm^3$ (100 gotas); $d_0 = 0{,}90\ g/cm^3$

a) $d_0 = \dfrac{m}{V_0} \Rightarrow m = d_0V_0 = 0{,}90 \cdot 1{,}0 \Rightarrow m = 0{,}90\ g$ (100 gotas)

Para uma gota, temos:

$$m_{gota} = \frac{m}{100} = \frac{0{,}90}{100} \Rightarrow \boxed{m_{gota} = 9{,}0 \cdot 10^{-3}\ g} \text{ ou } \boxed{m_{gota} = 9{,}0\ mg}$$

b) $\Delta V = V - V_0 \Rightarrow \Delta V = 1{,}01 - 1{,}0 \Rightarrow \Delta V = 0{,}01\ cm^3$

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$

$0{,}01 = \gamma \cdot 1{,}0 \cdot (60 - 10)$

$$\gamma = \frac{0{,}01}{1{,}0 \cdot 50}$$

$$\boxed{\gamma = 2{,}0 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}}$$

P.47 Taça:

$V_0 = 120\ \text{cm}^3$; $\Delta\theta = (39 - 21)\ °\text{C} = 18\ °\text{C} = 18\ \text{K}$; $\alpha_{A\ell} = 2{,}3 \cdot 10^{-5}\ \text{K}^{-1}$

$\gamma_{A\ell} = 3\ \alpha_{A\ell} = 6{,}9 \cdot 10^{-5}\ \text{K}^{-1}$

$V_T = V_0\ (1 + \gamma_{A\ell} \cdot \Delta\theta) = 120 \cdot (1 + 6{,}9 \cdot 10^{-5} \cdot 18) \Rightarrow V_T = 120{,}149\ \text{cm}^3$

Glicerina:

$V_0 = 119\ \text{cm}^3$; $\Delta\theta = 18\ °\text{C} = 18\ \text{K}$; $\gamma_G = 5{,}1 \cdot 10^{-4}\ \text{K}^{-1}$

$V_G = V_0 \cdot (1 + \gamma_G \cdot \Delta\theta) = 119 \cdot (1 + 5{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 18) \Rightarrow V_G = 120{,}092\ \text{cm}^3$

Não há transbordamento. O volume não ocupado por glicerina ao final será:

$$V = V_T - V_G = 120{,}149 - 120{,}092 \Rightarrow \boxed{V = 0{,}057\ \text{cm}^3}$$

P.48 Dados: $V_0 = 10\ \ell$; $\theta_0 = 20\ °\text{C}$; $\theta = 30\ °\text{C}$; $\Delta V_{ap.} = 80\ \text{cm}^3$; $\gamma = 0{,}9 \cdot 10^{-3}\ °\text{C}^{-1}$

a) $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 0{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot (30 - 20) \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta V = 90 \cdot 10^{-3}\ \ell \Rightarrow \Delta V = 90\ \text{cm}^3$

Mas: $\Delta V_{ap.} = \Delta V - \Delta V_F$. Portanto:

$$\Delta V_F = \Delta V - \Delta V_{ap.} \Rightarrow \Delta V_F = 90 - 80 \Rightarrow \boxed{\Delta V_F = 10\ \text{cm}^3}$$

b) Para a dilatação do frasco (caixa cúbica metálica), temos:

$\Delta V_F = \gamma_F \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$$\Rightarrow 10 \cdot 10^{-3} = \gamma_F \cdot 10 \cdot (30 - 20) \Rightarrow \gamma_F = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10} \Rightarrow \gamma_F = 1{,}0 \cdot 10^{-4}\ °\text{C}^{-1}$$

Mas $\gamma_F = 3\alpha_F$. Logo:

$$\alpha_F = \frac{\gamma_F}{3} \Rightarrow \alpha_F = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-4}}{3} \Rightarrow \boxed{\alpha_F \simeq 0{,}33 \cdot 10^{-4}\ °\text{C}^{-1}}$$

P.49 Para 0 °C, temos: $C_0 = 91{,}000\ \text{cm}^3$ e $V_0 = 90{,}000\ \text{cm}^3$

Para θ desconhecido, temos: $C = V$

Vidro: $\alpha = 32 \cdot 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}$. Logo: $\gamma_F = 3\alpha = 96 \cdot 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}$

Mercúrio: $\gamma_{Hg} = 182 \cdot 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}$

Sendo $C = C_0 \cdot (1 + \gamma_F \cdot \Delta\theta)$ e $V = V_0 \cdot (1 + \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta)$, obtemos:

$C_0 \cdot (1 + \gamma_F \cdot \Delta\theta) = V_0 \cdot (1 + \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta)$

$91{,}000 \cdot (1 + 96 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta) = 90{,}000 \cdot (1 + 182 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta)$

$91{,}000 + 8.736 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta = 90{,}000 + 16.380 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta$

$1{,}000 = 7.644 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta$

$$\boxed{\Delta\theta \simeq 130{,}8\ °\text{C}}$$